



Ogólne zasady regulacji genów u Prokaryota i Eukaryota

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Film](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



Ogólne zasady regulacji genów u Prokaryota i Eukaryota

Regulacja ekspresji genów jest złożonym, wieloetapowym procesem, kontrolowanym przez wiele różnych mechanizmów.

Źródło: Furiosa-L, Pixabay, domena publiczna.

Wszystkie komórki, zarówno prokariotyczne, jak i eukariotyczne, cechuje precyzyjna regulacja ekspresji genów. Pozwala im ona, w pewnym zakresie, na przystosowanie się do zmiennych warunków środowiska oraz różnicowanie względem pełnionych funkcji. Mechanizmy regulacji genów umożliwiły powstanie organizmów wielokomórkowych i specjalizację grup komórek w tkanki i narządy. Na czym polega regulacja ekspresji genów u organizmów eukariotycznych i prokariotycznych?

Twoje cele

- Porównasz mechanizmy ekspresji genów u Prokaryota i Eukaryota.
- Wyjaśnisz pojęcie operonu.
- Rozróżnisz mechanizmy pozytywnej i negatywnej regulacji ekspresji genów.
- Wyjaśnisz, z czego wynika zróżnicowanie ekspresji genów w komórkach eukariotycznych.

Przeczytaj

Regulacja ekspresji genów to niezmiernie ważny i precyzyjny mechanizm, który umożliwia komórkom uruchamianie tylko tych genów, które są im potrzebne do realizacji potrzeb życiowych. Szczególnie widoczne jest to w przypadku komórek organizmów wielokomórkowych, które ulegają specjalizacji i pewne swoje funkcje ograniczają, by skuteczniej realizować inne. Każda z komórek organizmu wielokomórkowego, w trakcie rozwoju płodowego, powstaje z komórek **totipotencjalnych**. Ich specjalizacja polega więc między innymi na stymulacji aktywności genów kluczowych dla danego typu komórek oraz ograniczaniu aktywności zbędnych genów. Dzieje się to za pomocą mechanizmów regulacji ich ekspresji.

W komórkach prokariotycznych również istnieją mechanizmy regulacji genów. Bakterie potrafią w pewnym stopniu dostosowywać metabolizm do warunków środowiska oraz zapotrzebowania metabolicznego. Dzieje się tak dzięki możliwości włączania i wyłączania określonych genów. Charakterystyczną cechą komórek bakterii jest grupowanie głównych genów jednego szlaku metabolicznego w **operony**. Dzięki skupieniu genów w operon komórka prokariotyczna może uruchomić lub zahamować ekspresję całej grupy genów naraz, w zależności od zapotrzebowania.

Zasady regulacji ekspresji genów u prokariontów

Model operonu został odkryty przez François Jacoba i Jacques'a Monoda w 1961 r. W jego skład, oprócz genów konkretnego szlaku metabolicznego, wchodzi dwa ważne odcinki DNA, pełniące nadrzędną kontrolną funkcję wobec pozostałych genów. Pierwszym z nich jest **promotor**, czyli sekwencja DNA, którą rozpoznaje **polimeraza RNA**. Drugi odcinek, czyli **operator**, jest sekwencją specyficzną wyłącznie dla struktury operonu. Występuje w pobliżu promotora i to do niej przyłącza się **represor**, czyli białko, które wpływa na zahamowanie **transkrypcji** operonu. Więcej informacji na ten temat znajdziesz w e-materiale: Struktura i sposoby regulacji operonów prokariotycznych.

Operon może ulegać regulacji negatywnej lub pozytywnej. Regulacja **negatywna** związana jest z działaniem represora, który łączy się z operatorem i blokuje działanie operonu. Uniemożliwia to przyłączenie się polimerazy RNA i rozpoczęcie transkrypcji. Przykładem operonu o regulacji negatywnej jest **operon tryptofanowy**, który zawiera geny kodujące enzymy szlaku produkcji tryptofanu. W obecności tryptofanu produkowany w formie nieaktywnej represor ulega aktywacji i uniemożliwia transkrypcję genów operonu,

zapobiegając nadmiernej produkcji tego aminokwasu. W warunkach niedoboru tryptofanu represor pozostaje nieaktywny, co odblokowuje ekspresję genów operonu i syntezę tego aminokwasu. Dokładny opis tego mechanizmu znajduje się w e-materiale: Operony hamowane – operon tryptofanowy.

Regulacja **pozytywna** natomiast polega na aktywacji ekspresji genów operonu. Dzieje się tak w wyniku wiązania **aktywatora** w specjalnym miejscu przed promotorem, który ułatwia przyłączenie polimerazy do DNA i rozpoczęcie transkrypcji. Regulacji pozytywnej podlega np. **operon laktozowy**, zawierający geny szlaku rozkładu laktozy. W obecności laktozy i przy niewielkim stężeniu glukozy aktywator przyłącza się do określonej sekwencji w DNA, ułatwiając przyłączenie polimerazy RNA, co umożliwia ekspresję genów operonu z dużą wydajnością. Co ciekawe, operon laktozowy podlega również regulacji negatywnej. Więcej informacji na ten temat znajdziesz w e-materiale: „Operony indukowane – operon laktozowy”.

Zasady regulacji ekspresji genów u eukariontów

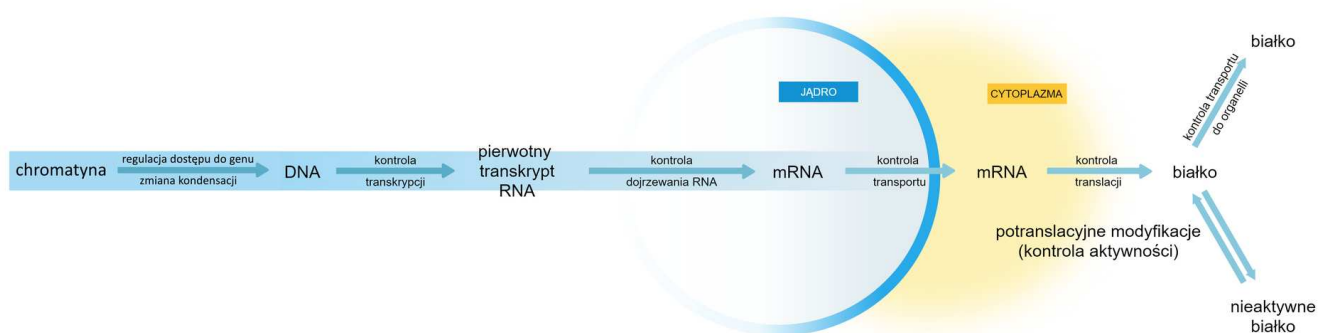
Komórki eukariotyczne mają znacznie bardziej skomplikowane mechanizmy regulacji genów niż bakterie. Brak u nich operonów, a ekspresja każdego genu zachodzi osobno. Jest to związane z budową komórek eukariotycznych (obecnością obłonionego jądra i rozdzielania przestrzennego poszczególnych etapów ekspresji), a także z wysoką specjalizacją w pełnieniu funkcji w wielokomórkowym organizmie. Proces ekspresji genów jest bardziej skomplikowany niż u prokariotów, a regulacja odbywa się w kilku etapach. Aby geny mogły zostać aktywowane, najpierw chromatyna musi ulec rozluźnieniu. Jest to tzw. **regulacja dostępu do genu**. Wiąże się ona z modyfikacją chemiczną histonów, co powoduje zmianę kondensacji chromatyny i ułatwia dostęp do konkretnego odcinka DNA. Proces ten jest odwracalny.

Kolejny mechanizm regulacji dotyczy rozpoczęcia procesu **transkrypcji**. Wiąże się on z obecnością czynników transkrypcyjnych, których przyłączenie do DNA ułatwia wiązanie polimerazy RNA. U eukariontów występują bardzo liczne odcinki regulatorowe genów oraz przyłączane czynniki transkrypcyjne. Wiele czynników jest specyficznych dla danego typu komórek i nie występuje w komórkach innych rodzajów. Geny mogą być aktywowane osobno lub w sposób skoordynowany (szczególnie w przypadku genów jednego szlaku metabolicznego).

Regulacja odbywa się również na poziomie procesu **translacji**. Produkcja białek na podstawie **matrycowego RNA (mRNA)** może być aktywowana, np. przez syntezę większej ilości rybosomów. Może być także hamowana, np. przez degradację powstałego mRNA czy

terminację translacji i degradację powstałego peptydu. Co więcej, ekspresja jednego genu umożliwia czasami wytworzenie białek różnego typu – w tym przypadku regulacja odbywa się podczas wcześniejszego etapu: modyfikacji potranskrypcyjnej pre-mRNA. Matrycowy RNA może ulegać tzw. **alternatywnemu składaniu**, w którym wykorzystywane są tylko niektóre odcinki kodujące pre-mRNA.

Ostatni mechanizm regulacji związany jest z białkami regulatorowymi oraz **miRNA** (mikroRNA), czyli krótkimi, jednoniciowymi, niekodującymi cząsteczkami RNA. Odgrywają one bardzo ważną rolę w blokowaniu translacji mRNA, a nawet powodują jego rozpad. Z kolei białka regulatorowe mają zdolność aktywacji lub blokowania translacji, przez odpowiednie łączenie się z mRNA.



Niektóre etapy regulacji ekspresji genów u eukariontów.

Źródło: EnglishSquare.pl Sp. z o. o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Słownik

aktywator

białko przyłączające się do DNA, które wiąże się z odpowiednim miejscem operonu i indukuje lub zwiększa transkrypcję jego genów

miRNA (mikroRNA)

(ang. micro RNA) mały niekodujący RNA, wyciszający ekspresję genów

mRNA

(ang. messenger RNA) matrycowy kwas rybonukleinowy; w procesie translacji stanowi matrycę zawierającą informację o sekwencji aminokwasów w białku

operator

sekwencja DNA w operonie regulująca aktywność genów struktury, do której wiąże się białko regulatorowe (represor)

operon

specyficzna i powszechna u bakterii strukturalna i funkcjonalna jednostka genomu; zawiera od dwóch do kilku kolejno ułożonych genów strukturalnych, które kodują

enzymy jednego szlaku metabolicznego, oraz położone bezpośrednio przed genami sekwencje operatora i promotora, które kontrolują ich aktywność transkrypcyjną; termin operon wprowadzili do genetyki w 1961 roku François Jacob i Jacques Monod, odkrywcy mechanizmu jego regulacji

polimeraza RNA zależna od DNA

enzym odpowiadający za przeprowadzenie procesu transkrypcji

promotor

odcinek DNA zawierający sekwencje rozpoznawane przez polimerazę RNA zależną od DNA

represor

białko regulatorowe wiążące się z określoną sekwencją DNA w operatorze i hamujące proces transkrypcji genów; represor uniemożliwia przyłączanie się polimerazy RNA do promotora

transkrypcja

proces syntezy RNA, podczas którego na matrycy DNA jest syntetyzowana komplementarna nić RNA

translacja

drugi etap ekspresji genu, podczas którego na podstawie informacji zapisanej w nici mRNA jest syntetyzowany polipeptyd

totipotencjalne komórki

komórki zdolne do wielokierunkowego różnicowania się, pojawiające się na wczesnych etapach rozwoju zarodkowego (bruzdkowania)

Film



Film dostępny pod adresem </preview/resource/RewNQpu0FHleP>

Ogólne zasady regulacji genów u Prokaryota i Eukaryota.

Źródło: reż. Englishsquare.pl sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Film nawiązujący do treści materiału pod tytułem: Ogólne zasady regulacji genów u Prokaryota i Eukaryota.

Polecenie 1

Omów zasady, według których przebiega regulacja genów u Prokaryota i Eukaryota, a następnie wyjaśnij, z czego wynika skomplikowany system regulacji ekspresji genów u eukariontów.



Film dostępny pod adresem </preview/resource/R1NB4eXeP2MiP>

Pozytywna i negatywna regulacja genów u Prokaryota i Eukaryota.

Źródło: reż. Englishsquare.pl sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Film nawiązujący do treści materiału pod tytułem: Pozytywna i negatywna regulacja genów u Prokaryota i Eukaryota.

Polecenie 2

Porównaj pozytywną i negatywną regulację ekspresji genów.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Spośród poniższych wybierz wszystkie zdania poprawnie opisujące rolę regulacji ekspresji genów.

- ☐ Pozwala na różnicowanie się komórek macierzystych w funkcjonalne komórki ludzkiego ciała.
- ☐ Umożliwia dostosowanie ilości materiału genetycznego do aktualnych potrzeb komórki.
- ☐ Pozwala na odpowiednią reakcję komórki na czynniki środowiskowe.
- ☐ Dzięki niej możliwe jest pojawianie się lekooporności u bakterii.

Ćwiczenie 2



Połącz określenia z odpowiednimi opisami.

operator

odcinek DNA, do którego przyłącza się represor

promotor

cząsteczka, która po związaniu z DNA hamuje transkrypcję genów

aktywator

odcinek DNA, do którego przyłącza się polimeraza RNA

operon

fragment DNA, w którego skład wchodzi m.in. operator i promotor

represor

cząsteczka ułatwiająca stworzenie kompleksu DNA-polimeraza RNA

Ćwiczenie 3



Uszereguj poziomy regulacji ekspresji genów eukariotycznych w odpowiedniej kolejności.

Przyłączanie czynników transkrypcyjnych



Modyfikacje potranskrypcyjne pre-mRNA



Regulacja stopnia upakowania chromatyny przez modyfikacje histonów



Blokowanie translacji przez miRNA i białka regulatorowe



Ćwiczenie 4



Poniższe zdania oceń jako prawdziwe lub fałszywe.

Zdanie	Prawda	Fałsz
Przed każdym genem organizmu prokariotycznego znajduje się promotor, a za nim – terminator.	☐	☐
W przypadku organizmów eukariotycznych polimeraza RNA przeprowadza transkrypcję kilku genów z rzędu, po czym dochodzi do sekwencji terminatorowej.	☐	☐
Aktywność poszczególnych operonów zależy od stopnia kondensacji chromatyny.	☐	☐
Aktywator i represor wpływają na zdolność łączenia się polimerazy RNA z DNA.	☐	☐

Ćwiczenie 5



Poniższe określenia, dotyczące regulacji ekspresji genów, przyporządkuj do odpowiedniej kolumny.

Elementy występujące w ekspresji genów u:

Eukaryota

regulacja stopnia kondensacji chromatyny

operator

Prokaryota

alternatywny splicing (składanie genów)

aktywator

represor

wyciszanie genów za pomocą miRNA

pre-mRNA

Operon laktozowy występujący u *Escherichia coli* jest przykładem operonu bakteryjnego. Białka kodowane przez geny operonu są odpowiedzialne za rozkład laktozy na cukry proste. Ekspresja genów może zostać włączona, kiedy w komórce pojawi się laktoza. W przypadku braku laktozy cząsteczka represora zapobiega ekspresji genów poprzez przyłączanie się do sekwencji DNA, zwanej operatorem. Laktoza jest cząsteczką, która „włącza” operon laktozowy. Gdy pojawia się w środowisku komórki, jest wprowadzana do jej wnętrza, a następnie przyłącza się do cząsteczki represora. To sprawia, że represor odłącza się od operatora, dzięki czemu polimeraza RNA może rozpocząć transkrypcję operonu.



Działanie represora.

Na podstawie: Podstawy genetyki dla studentów i lekarzy, red. G. Drewna, T. Ferenc, Wrocław 2005, s. 94.

Źródło: Englishsquare.pl Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Na podstawie powyższego tekstu i ilustracji uzupełnij poniższy tekst tak, żeby stanowił poprawną całość. Wybierz właściwe określenia z spośród propozycji.

Przedstawiona na powyższym schemacie regulacja operonu laktozowego jest przykładem

regulacji . Brak laktozy w komórce powoduje, że represor przyłącza się do i ekspresję genów struktury. Gdy laktoza jest obecna, wiąże się z . Utworzenie kompleksu powoduje jego i odłączenie od operatora. Oddzielenie się od operatora umożliwia przyłączenie polimerazy i proces transkrypcji genów kodujących enzymy rozkładające laktozę.

Informacja do ćwiczeń 7 i 8

„Różnorodność przeciwciał wytwarzanych przez limfocyty B jest ogromna. Za specyficzność względem antygeny odpowiadają lekkie łańcuchy przeciwciał, kodowane przez geny zawierające następujące segmenty genowe: zmienny (V), łączący (J) i stały (C). Pojedynczy gen lekkiego łańcucha ma jeden segment C, 40 segmentów V i pięć segmentów J. Jednak funkcjonalny gen zawiera po jednym segmencie z każdego typu. Do łączenia odpowiednich segmentów DNA niezbędne są enzymy o nazwie rekombinazy.”

Na podstawie: N. A. Campbell i wsp., *Biologia*, 2012.

Ćwiczenie 7



Na podstawie powyższego tekstu i własnej wiedzy oblicz, ile możliwych wersji łańcucha lekkiego przeciwciał może powstać w wyniku działania rekombinaz na pojedynczy gen kodujący ten łańcuch. Który z segmentów zapewnia największą różnorodność przeciwciał?

Ćwiczenie 8



Na podstawie tekstu i własnej wiedzy oceń, czy opisane rearanżacje genów łańcuchów lekkich mają charakter modyfikacji potranskrypcyjnych. Swoją ocenę uzasadnij.

Dla nauczyciela

Autor: Anna Juwan

Przedmiot: biologia

Temat: Ogólne zasady regulacji genów u Prokaryota i Eukaryota

Grupa docelowa: uczniowie III etapu edukacyjnego – kształcenie w zakresie podstawowym i rozszerzonym

Podstawa programowa:

Zakres podstawowy

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

VI. Ekspresja informacji genetycznej w komórkach człowieka. Uczeń:

6) przedstawia istotę regulacji ekspresji genów.

Zakres rozszerzony

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

XIII. Ekspresja informacji genetycznej. Uczeń:

8) przedstawia na przykładzie operonu laktozowego i tryptofanowego regulację ekspresji informacji genetycznej u organizmów prokariotycznych;

Kształtowane kompetencje kluczowe:

- kompetencje cyfrowe;
- kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się;
- kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii.

Cele operacyjne (językiem ucznia):

- Porównasz mechanizmy ekspresji genów u Prokaryota i Eukaryota.
- Wyjaśnisz pojęcie operonu.
- Rozróżnisz mechanizmy pozytywnej i negatywnej regulacji ekspresji genów.
- Wyjaśnisz, z czego wynika zróżnicowanie ekspresji genów w komórkach eukariotycznych.

Strategie nauczania:

- konstruktywizm;
- konektywizm.

Metody i techniki nauczania:

- z użyciem komputera;
- rozmowa kierowana;
- ćwiczenia interaktywne;
- praca z filmem;
- gwiazda pytań.

Formy pracy:

- praca indywidualna;
- praca w parach;
- praca w grupach;
- praca całego zespołu klasowego.

Środki dydaktyczne:

- komputery z głośnikami, słuchawkami i dostępem do internetu;
- zasoby multimedialne zawarte w e-materiale;
- tablica interaktywna/tablica, pisak/kreda.

Przed lekcją:

1. **Przygotowanie do zajęć.** Nauczyciel loguje się na platformie i udostępnia uczniom e-materiał „Ogólne zasady regulacji genów u Prokaryota i Eukaryota”. Prosi uczestników zajęć o rozwiązanie ćwiczenia nr 1 (w którym mają za zadanie wybrać wszystkie zdania poprawnie opisujące rolę regulacji ekspresji genów) z sekcji „Sprawdź się” na podstawie treści w sekcji „Przeczytaj”.

Przebieg lekcji

Faza wstępna:

1. Nauczyciel wyświetla na tablicy temat lekcji oraz cele zajęć, omawiając lub ustalając razem z uczniami kryteria sukcesu.
2. **Wprowadzenie do tematu – praca z multimedialnym („Film”).** Uczniowie zapoznają się z udostępnionym przez nauczyciela filmem pt. „Ogólne zasady regulacji genów u Prokaryota i Eukaryota”. Prowadzący zajęcia prosi wybrane osoby, by omówiły zasady, według których przebiega regulacja genów u Prokaryota i Eukaryota, i wyjaśniły, z czego wynika skomplikowany system regulacji ekspresji genów u eukariontów (polecenie nr 1).

Faza realizacyjna:

1. **Gwiazda pytań.** Nauczyciel dzieli uczniów na trzy grupy, a następnie prezentuje na tablicy interaktywnej schemat „gwiazdy pytań” (zob. materiały pomocnicze). Objaśnia uczniom, w jaki sposób powinni pracować ze schematem: na podstawie e-materiału oraz innych źródeł mają opracować zagadnienie ogólnych zasad regulacji genów u Prokaryota i Eukaryota, odpowiadając na pytania widniejące na schemacie. Następnie każdy zespół dopisuje piąte pytanie i daje je do rozwiązania innej grupie. Nauczyciel sprawdza wykonanie zadania, podchodząc do każdej grupy. Koryguje ewentualne błędy. Wybrani przez nauczyciela uczniowie kolejno prezentują wyniki prac swojego zespołu.
2. **Utrwalenie wiedzy i umiejętności.** Uczniowie dobierają się w pary i wykonują ćwiczenia nr 7 i 8 (odnoszące się do tekstu na temat lekkich łańcuchów przeciwciał) z sekcji „Sprawdź się”. Następnie konsultują swoje rozwiązania z inną parą uczniów i formułują wspólne uzasadnienia. Nauczyciel w razie potrzeby naprowadza ich na prawidłowy tok rozumowania. Chętni prezentują odpowiedzi na forum klasy. Nauczyciel udziela informacji zwrotnej.

Faza podsumowująca:

1. Uczniowie rozwiązują ćwiczenie nr 4 (typu „prawda/fałsz”) z sekcji „Sprawdź się”. Następnie przygotowują podobne zadanie dla osoby z pary: tworzą trzy prawdziwe lub fałszywe zdania dotyczące tematu lekcji. Uczniowie wykonują ćwiczenie otrzymane od kolegi lub koleżanki.
2. Nauczyciel ponownie wyświetla na tablicy temat lekcji zawarty w sekcji „Wprowadzenie” i w tym kontekście podsumowuje pracę uczniów.

Praca domowa:

1. Wykonaj ćwiczenia 2 i 3 oraz 5 i 6 z sekcji „Sprawdź się”.
2. Dla chętnych: Wykonaj polecenie nr 2 do filmu.

Materiały pomocnicze:

- Jane B. Reece i in., „Biologia Campbella”, tłum. K. Stobrawa i in., Dom Wydawniczy REBIS, Poznań 2021.
- „Encyklopedia szkolna. Biologia”, red. Marta Stęplewska, Robert Mitoraj, Wydawnictwo Zielona Sowa, Kraków 2006.

Załącznik 1. Gwiazda pytań.

Plik o rozmiarze 93.44 KB w języku polskim

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania filmu:

- Uczniowie mogą przed lekcją zapoznać się z materiałem w sekcji „Film”, aby aktywnie uczestniczyć w zajęciach i pogłębić swoją wiedzę.